

УДК 678.073:661.481

ИЗНОСОСТОЙКОСТЬ КОМПОЗИТОВ НА ГИБРИДНОЙ МАТРИЦЕ СВМПЭ—ПТФЭ: МЕХАНИЧЕСКИЕ И ТРИБОТЕХНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА МАТРИЦЫ

С. В. ПАНИН^{а,б+}, Л. А. КОРНИЕНКО^а, Т. НГУЕН СУАН^б, Л. Р. ИВАНОВА^а, М. А. КОРЧАГИН^в, С. В. ШИЛЬКО^г, Ю. М. ПЛЕСКАЧЕВСКИЙ^г

С целью разработки биосовместимых антифрикционных композитов на основе сверхвысокомолекулярного полиэтилена (СВМПЭ) в первой части работы определены механические и триботехнические характеристики гибридной полимерной матрицы в виде смеси СВМПЭ с политетрафторэтиленом (ПТФЭ) в условиях сухого трения, граничной смазки и абразивного износа. Показано, что интенсивность изнашивания указанного материала в условиях сухого трения скольжения снижается более, чем вдвое в сравнении с чистым СВМПЭ. При этом механические характеристики изменяются несущественно. В условиях граничной смазки (дистиллированная вода) износостойкость матричного материала близка к таковой при сухом трении скольжения. В условиях абразивного изнашивания износостойкость композиций мало отличается от износостойкости исходного СВМПЭ. Обсуждаются механизмы изнашивания полимерной смеси СВМПЭ—ПТФЭ в условиях сухого трения скольжения и абразивного изнашивания.

Ключевые слова: антифрикционные композиты, полимер-полимерная матрица, сверхвысокомолекулярный полиэтилен, политетрафторэтилен, износостойкость, коэффициент трения, надмолекулярная структура, плёнки переноса.

Введение. В последнее время активно разрабатываются микро- и нанокомпозиты на основе высокомолекулярной матрицы, например, сверхвысокомолекулярного полиэтилена (СВМПЭ) [1—6]. Известно также, что минимальное изнашивание сопряжений достигается при наличии в трибоконтакте смазочной среды. В частности, при создании твёрдосмазочных композитов в полимерную матрицу вводят дисперсные наполнители, например, графит и дисульфид молибдена, что расширяет возможности применения антифрикционных композитов в высоконагруженных узлах трения, когда жидкие либо пастообразные смазки не выдерживают условий эксплуатации. В качестве твёрдой смазки может выступать политетрафторэтилен (ПТФЭ), который обладает низким сопротивлением сдвигу, слабым адгезионным взаимодействием, способностью образовывать плёнки переноса, а также биосовместимостью [7]. Это обеспечивает коэффициент трения, наименьший в сравнении с другими промышленно выпускаемыми полимерными материалами, и возможность применения в имплантатах. Но особенности механических свойств политетрафторэтилена (невысокий модуль упругости и т. н. хладотекучесть) приводят к низкой формостабильности изготовленных из него элементов сопряжений, существенно ограничивая использование в триботехнике [8—10]. Целесообразно использовать ПТФЭ в качестве твёрдосмазочного

а Институт физики прочности и материаловедения СО РАН. Россия, 634021, г. Томск, просп. Академический, 2/4.

б НИ Томский политехнический университет. Россия, 634050, г. Томск, просп. Ленина, 30.

в Институт химии твёрдого тела и механохимии СО РАН. Россия, 630128, г. Новосибирск, ул. Кутателадзе, 18.

г Институт механики металлополимерных систем им. В. А. Белого НАН Беларуси. Беларусь, 246050, г. Гомель, ул. Кирова, 32а.

+ Автор, с которым следует вести переписку. e-mail: svp@ispms.tsc.ru.

наполнителя СВМПЭ, как способ повышения износостойкости последнего и расширения номенклатуры антифрикционных композитов для применения в технике и медицине.

Цель работы — создание антифрикционных, биосовместимых и экструзируемых композитов на основе полимер-полимерной матрицы СВМПЭ—ПТФЭ.

Материалы и методы исследований. Для определения износостойкости исследуемых материалов в условиях сухого трения, граничной смазки и абразивного изнашивания в работе использовали порошок СВМПЭ фирмы Ticona (GUR-2122) молекулярной массой 4,0 млн и размером частиц 5—15 мкм, порошок политетрафторэтилена Ф-4ПН₂₀ (Ø 14 мкм) и политетрафторэтилена Ф-4(ПН) (Ø 100—180 мкм). Образцы полимер-полимерных смесей получали горячим прессованием при давлении 10 МПа и температуре 200 °С со скоростью последующего охлаждения 4 °С/мин. Перемешивание смеси порошков СВМПЭ и ПТФЭ проводили в планетарной шаровой мельнице МР/0,5*4 с предварительным диспергированием компонентов в ультразвуковой ванне. Механоактивацию смесей проводили в АГО-2 в течение 1 и 5 минут.

Износостойкость материалов в режиме сухого трения определяли по схеме “вал—колодка” при нагрузке на образец 68,8 Н и скорости вращения вала 100 мин⁻¹ в соответствии с ASTM G99 на машине трения СМТ-1 (скорость скольжения 0,32 м/с). Размер образцов В×Ш×Д = 7×7×10 мм. Диаметр контртела из стали ШХ15 составлял 62 мм. Поверхности трения образцов исследовали на оптическом профилометре Zygo New View 6200. Площадь дорожки трения определяли с помощью программного обеспечения “Rhino Cerog 3.0” путём ручного выделения контура поверхности истирания (дорожки трения) и последующего автоматического расчёта её площади.

Испытания на абразивный износ проводили на машине для испытания резин на истираемость МИ-2. Сопротивление изнашиванию оценивали при нагрузке 0,15 МПа и скорости скольжения вала относительно пары образцов 17,0 м/мин. Использовали частицы закреплённого на бумажной основе абразива Р 240 с размером зерна 58,5 мкм (ГОСТ 426). Объёмный абразивный износ определяли взвешиванием образцов с последующим вычислением потери массы через каждые 5 минут. Методика тестирования соответствовала требованиям ASTM G99 и DIN 50324. Триботехнические характеристики оценивали усреднением по четырём образцам.

Структурные исследования проводили с помощью растрового электронного микроскопа LEO EVO 50 при ускоряющем напряжении 20 кВ на поверхностях скола образцов с надрезом, механически разрушенных после выдержки в жидком азоте. Исследование степени кристалличности выполняли на приборе STD Q600, ИК-спектры получали на спектрометре NIKOLET 5700.

Механические характеристики материалов при растяжении по ГОСТ 11262—80 определяли на машине Instron 5582 при количестве стандартных образцов в виде лопаток не менее 5 для каждого материала.

Результаты исследований и их обсуждение. В табл. 1 приведены трибомеханические характеристики чистого СВМПЭ и образцов полимерных смесей СВМПЭ—ПТФЭ. Из таблицы следует, что твёрдость по Шору *D* смесей СВМПЭ + *n* вес.% ПТФЭ слабо изменяется по сравнению с ненаполненным СВМПЭ. Предел прочности и относительное удлинение при разрыве уменьшаются. При наполнении СВМПЭ политетрафторэтиленом плотность материала возрастает. Значительное (более, чем на порядок) изменение среднего размера частиц ПТФЭ не приводит к заметному изменению механических характеристик при идентичной степени наполнения.

Для повышения адгезии наполнителя (политетрафторэтилена) к неполярной высокомолекулярной матрице (СВМПЭ) проводилась механоактивация смеси компонентов в планетарной шаровой мельнице АГО-2 с использованием порошков Ф-4 различной дисперсности. Прежде всего, следует отметить, что прочность и предельное удлинение несущественно зависят от размера порошка наполнителя, а именно, механические характеристики получаемых материалов примерно на 10% выше при использовании порошка ПТФЭ с более мелким размером порошка (табл. 1). Предел прочности (σ_B) и предельное удлинение (ϵ) незначительно уменьшаются после механоак-

тивации компонентов (рис. 1). Иная картина влияния механоактивации компонентов и размера частиц наполнителя наблюдается при анализе триботехнических характеристик смесевых материалов СВМПЭ—ПТФЭ.

Таблица 1. Механические свойства и коэффициент трения смесевых материалов СВМПЭ—ПТФЭ при использовании мелких (1) и крупных (2) частиц Ф4

Содержание наполнителя, вес. %	Плотность, г/см ³	Твёрдость по Шору D	Предел прочности σ_B , МПа	Удлинение ϵ , %	Крист. χ , %	Коэффициент трения f
0	0,93	59,5 ± 0,6	32,3 ± 0,9	485 ± 23,6	44,8	0,120
5 (1)	0,97	59,8 ± 0,5	29,2 ± 1,0	465 ± 23,6	39,5	0,067
10 (1)	1,00	59,6 ± 0,6	27,0 ± 1,2	428 ± 25,1	35,8	0,067
20 (1)	1,06	59,7 ± 0,6	24,7 ± 1,3	406 ± 24,3	35,0	0,068
40 (1)	1,22	59,8 ± 0,6	20,2 ± 1,0	217 ± 23,2	26,0	0,075
5 (2)	0,97	59,5 ± 0,5	28,5 ± 1,0	438 ± 25,1	36,5	0,089
10 (2)	0,99	59,8 ± 0,4	25,1 ± 1,2	384 ± 24,2	34,3	0,098
20 (2)	1,01	59,6 ± 0,6	22,6 ± 1,3	332 ± 23,4	32,8	0,098
40 (2)	1,12	59,9 ± 0,5	18,1 ± 1,0	289 ± 23,1	20,6	0,099

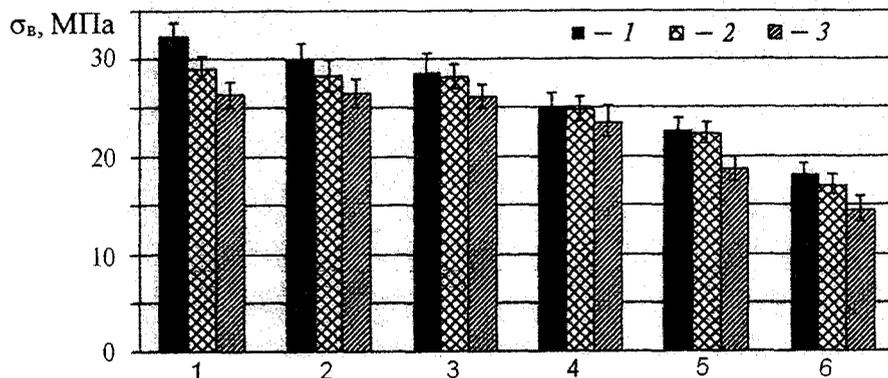


Рис. 1. Предел прочности σ_B СВМПЭ и смесей СВМПЭ—ПТФЭ после механоактивации: чистый СВМПЭ (1), СВМПЭ + 1 вес. % ПТФЭ (2), СВМПЭ + 5 вес. % ПТФЭ (3), СВМПЭ + 10 вес. % ПТФЭ (4), СВМПЭ + 20 вес. % ПТФЭ (5) и СВМПЭ + 40 вес. % ПТФЭ (6). Время механоактивации: 1 — без активации; 2 — 1 мин; 3 — 5 мин

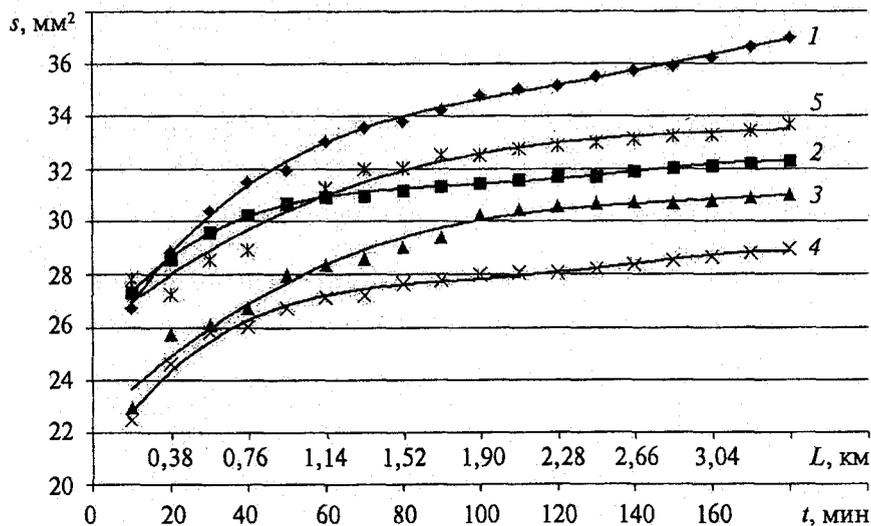


Рис. 2. Кинетические кривые СВМПЭ и смесей СВМПЭ—ПТФЭ: чистый СВМПЭ (1), СВМПЭ + 5 вес. % ПТФЭ (2), СВМПЭ + 10 вес. % ПТФЭ (3), СВМПЭ + 20 вес. % ПТФЭ (4) и СВМПЭ + 40 вес. % ПТФЭ (5). Размер порошка наполнителя 14 мкм

Сухое трение скольжения. Анализ кинетических кривых изнашивания образцов СВМПЭ и СВМПЭ + n вес. % ПТФЭ (рис. 2) показал, что интенсивность изнашивания последних значи-

тельно меньше, чем таковая для чистого (ненаполненного) СВМПЭ. На рис. 3, *а* приведена диаграмма интенсивности установившегося изнашивания (I , мм²/мин) указанных выше материалов с наполнителем различной дисперсности. Из рис. 3, *а* следует, что интенсивность изнашивания СВМПЭ—ПТФЭ зависит как от содержания, так и от размеров частиц наполнителя, уменьшаясь более чем в 2 раза при использовании мелкодисперсных частиц. Наименьшую интенсивность изнашивания (столбцы 3), а также шероховатость поверхности трения (рис. 3, *б*) имеет СВМПЭ + 10 вес.% ПТФЭ. Таким образом, несмотря на некоторое снижение предела прочности, полимер-полимерная система СВМПЭ—ПТФЭ характеризуется более чем двукратным повышением сопротивления изнашиванию при сухом трении скольжения. Последующее увеличение содержания политетрафторэтилена в композиции выше 10 вес.% неэффективно в плане повышения износостойкости. Наполнение СВМПЭ политетрафторэтиленом также приводит к снижению коэффициента трения (табл. 1).

Механоактивация компонентов смеси СВМПЭ—ПТФЭ приводит к повышению износостойкости композиций на 20—40% при обработке в течение 1 минуты (рис. 4). При механоактивации длительностью 5 минут износостойкость СВМПЭ—ПТФЭ, содержащих до 5 вес.% наполнителя, примерно равна чистому СВМПЭ, а затем резко падает при увеличении содержания наполнителя. ИК-спектры исходных и активированных композиций указывают на то, что химические связи между компонентами смесей в процессе механоактивации не образуются (рис. 5).

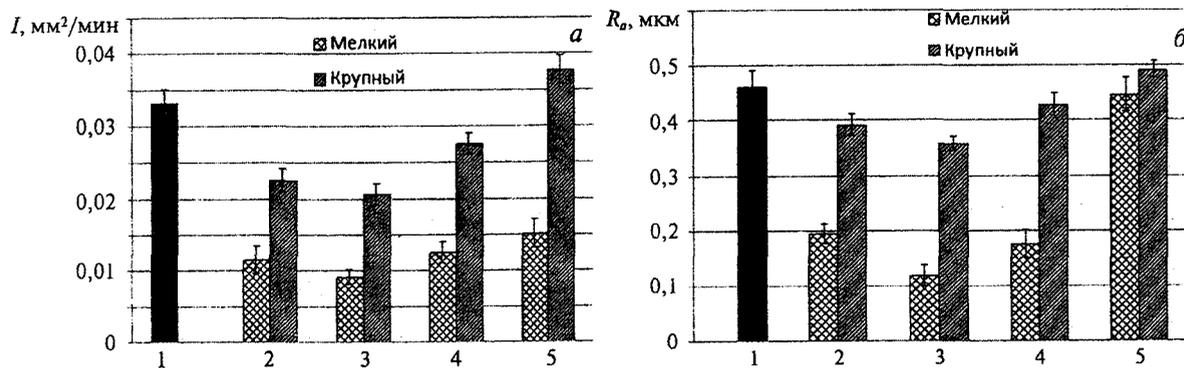


Рис. 3. Интенсивность изнашивания I (а) и шероховатость поверхности дорожки трения R_a (б) СВМПЭ и смесей СВМПЭ—ПТФЭ: чистый СВМПЭ (1), СВМПЭ + 5 вес.% ПТФЭ (2), СВМПЭ + 10 вес.% ПТФЭ (3), СВМПЭ + 20 вес.% ПТФЭ (4) и СВМПЭ + 40 вес.% ПТФЭ (5) на стадии установившегося износа

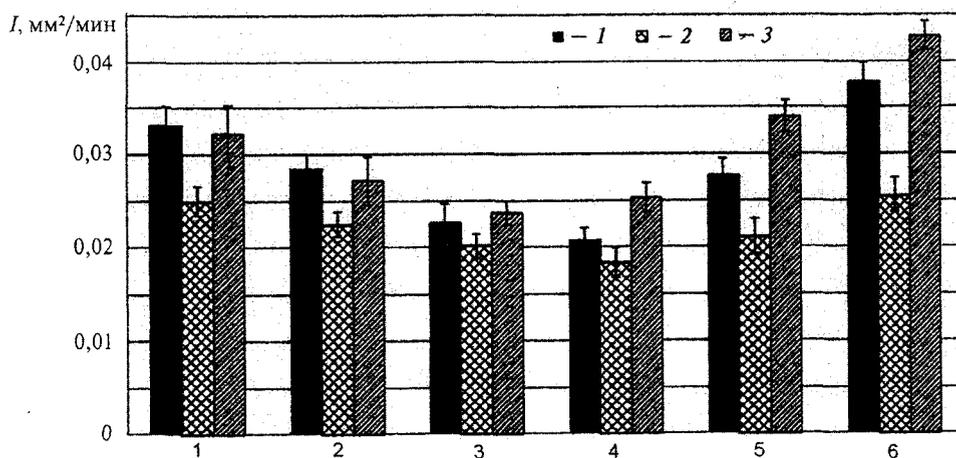


Рис. 4. Интенсивность изнашивания I СВМПЭ и смесей СВМПЭ—ПТФЭ после механоактивации: чистый СВМПЭ (1), СВМПЭ + 1 вес.% ПТФЭ (2), СВМПЭ + 5 вес.% ПТФЭ (3), СВМПЭ + 10 вес.% ПТФЭ (4), СВМПЭ + 20 вес.% ПТФЭ (5) и СВМПЭ + 40 вес.% ПТФЭ (6) на стадии установившегося износа в условиях сухого трения скольжения. Время механоактивации: 1 — без активации; 2 — 1 мин; 3 — 5 мин

Для выяснения взаимосвязи между характером износа при сухом трении скольжения, сформировавшейся структурой, размером и содержанием ПТФЭ в изучаемых смесевых материалах на основе СВМПЭ, на стадии установившегося изнашивания исследованы поверхности трения образцов и контртела, а также надмолекулярная структура СВМПЭ—ПТФЭ с различным размером частиц наполнителя (рис. 6). Из рис. 6 следует, что наполнение СВМПЭ политетрафторэтиленом приводит к постепенному изменению надмолекулярной структуры: с увеличением содержания ПТФЭ наблюдается измельчение сферолитной структуры (1 вес.%), неоднородность её формирования при 5 и 10 вес.%, а в дальнейшем подавление образования сферолитной структуры (20, 40 вес.%). В СВМПЭ + 40 вес.% ПТФЭ сферолиты фактически не формируются. Из рисунков также видно, что адгезия между наполнителем и матрицей вполне удовлетворительная. Увеличение размера частиц политетрафторэтилена приводит к ещё более неоднородной надмолекулярной структуре.

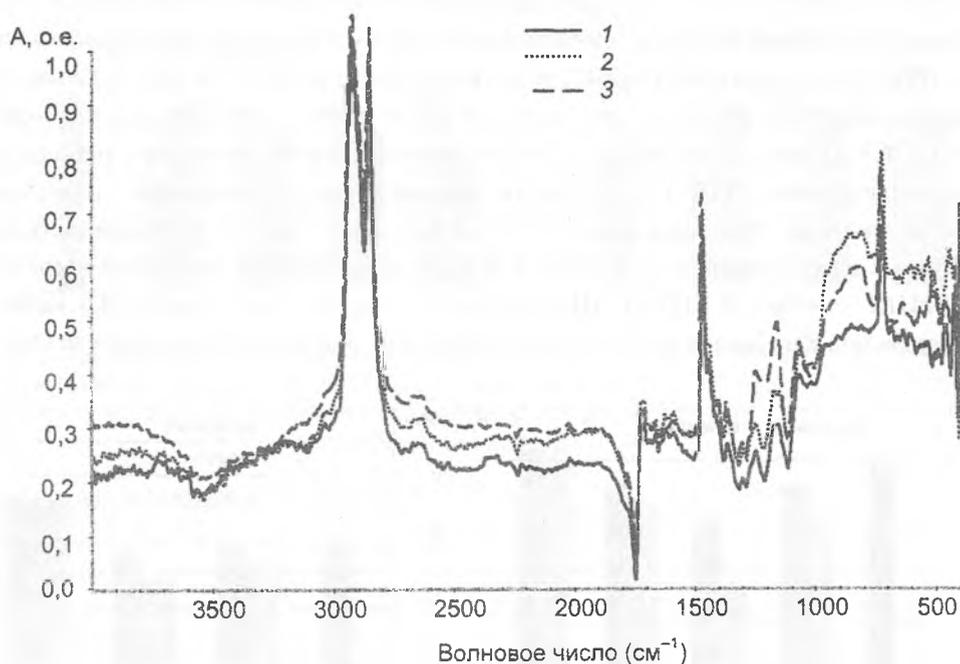


Рис. 5. ИК-спектры СВМПЭ и смесей СВМПЭ—ПТФЭ: исходный СВМПЭ (1), СВМПЭ + 10 вес.% ПТФЭ (2), СВМПЭ + 10 вес.% ПТФЭ, активированный в течение 1 мин (3)

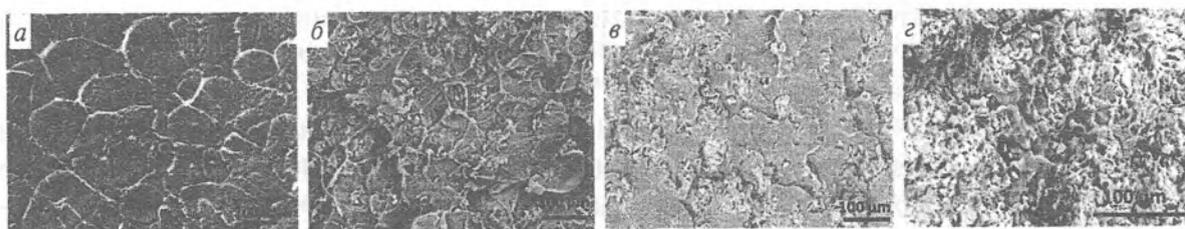


Рис. 6. Микрофотографии надмолекулярной структуры СВМПЭ (а), СВМПЭ + 5 вес.% ПТФЭ (б), СВМПЭ + 20 вес.% ПТФЭ (в), СВМПЭ + 40 вес.% ПТФЭ (г) в режиме сухого трения скольжения

Микроборозды, сформировавшиеся на поверхности трения чистого СВМПЭ, практически не наблюдаются в смесях, содержащих 5—10 вес.% ПТФЭ, и вновь начинают образовываться при дальнейшем увеличении содержания наполнителя. Наиболее гладкая поверхность трения соответствует 10 вес.% ПТФЭ, что коррелирует с данными по интенсивности изнашивания (рис. 3). Смазочную способность фторопласта, определяемую особенностью строения молекулы $(C_2F_4)_n$, подтверждает микроанализ поверхности контртела в условиях сухого трения скольжения (табл. 2).

Таблица 2. Результаты микроанализа поверхности контртела до и после испытаний при сухом трении образцов смесей СВМПЭ + 20 вес.% ПТФЭ

Исходное контртелo	С (вес.%)		N (вес.%)		Cr (вес.%)		Fe (вес.%)		F (вес.%)		Итог (вес.%)	
	“До”	“После”	“До”	“После”	“До”	“После”	“До”	“После”	“До”	“После”	“До”	“После”
Спектр 1	12,02	63,52	0,92	0,06	1,41	0,33	85,66	19,74	—	16,33	100,00	100,00
Спектр 2	19,08	57,78	2,10	0,08	1,05	0,49	77,78	30,24	—	11,41	100,00	100,00
Спектр 3	16,34	58,63	1,87	0,14	1,02	0,44	80,77	26,02	—	14,77	100,00	100,00
Спектр 4	15,70	51,22	2,22	0,16	1,16	0,60	80,93	37,99	—	10,03	100,00	100,00
Спектр 5	7,68	68,02	0,49	0,19	1,57	0,19	90,27	12,26	—	19,48	100,00	100,00
Спектр 6	—	52,03	—	0,15	—	0,51	—	31,84	—	15,48	—	100,00
Спектр 7	—	62,04	—	0,04	—	0,29	—	22,05	—	15,58	—	100,00

Трение в условиях граничной смазки. Результаты трибоиспытаний в смазочной среде (дистиллированная вода) указывают на то, что политетрафторэтилен сохраняет свои смазочные свойства. На рис. 7, а приведены данные по интенсивности изнашивания и шероховатости поверхности износа СВМПЭ + ПТФЭ в условиях смазочной среды, из которого видно, что при наличии граничной смазки интенсивность изнашивания уменьшается как в чистом СВМПЭ, так и в композициях СВМПЭ + ПТФЭ. Однако интенсивность изнашивания смесового материала с небольшим содержанием мелкодисперсного ПТФЭ в среде дистиллированной воды значительно ниже, чем чистого СВМПЭ в той же среде. При содержании наполнителя выше 20 вес.% интенсивность изнашивания исследуемых материалов близка к таковой для чистого СВМПЭ в смазочной среде и даже выше для СВМПЭ + 40 вес.% ПТФЭ. Шероховатость поверхностей износа (R_a) композиций в смазочной среде подобна зависимости износостойкости от содержания наполнителя (рис. 7, б).

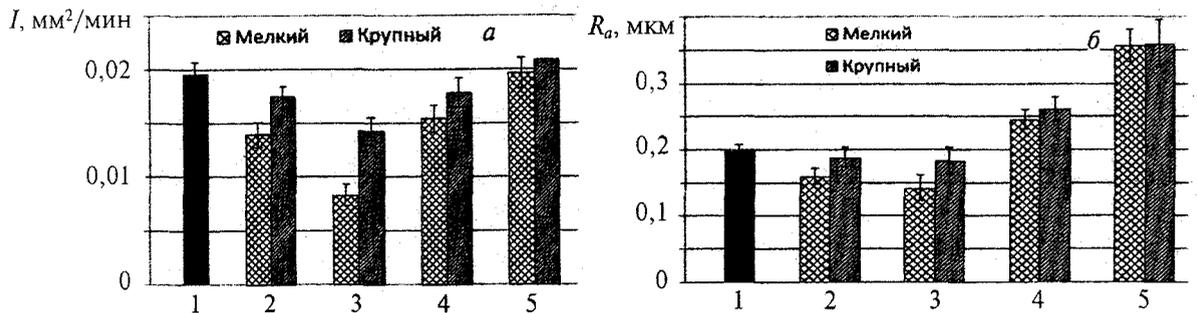


Рис. 7. Интенсивность изнашивания I (а) и шероховатость поверхности дорожки трения R_a (б) СВМПЭ и смесей СВМПЭ—ПТФЭ: чистый СВМПЭ (1), СВМПЭ + 5 вес.% ПТФЭ (2), СВМПЭ + 10 вес.% ПТФЭ (3), СВМПЭ + 20 вес.% ПТФЭ (4) и СВМПЭ + 40 вес.% ПТФЭ (5) на стадии установившегося износа в смазочной среде (дистиллированная вода)

Проанализированы поверхности износа в условиях смазочной среды СВМПЭ и СВМПЭ—ПТФЭ, показавшие, что на поверхности износа чистого СВМПЭ наблюдаются тонкие “микробороздки”, тогда как в смесевых материалах они отсутствуют. Эти результаты свидетельствуют в пользу того, что политетрафторэтилен выполняет роль твёрдой смазки в процессе изнашивания смесевых материалов на основе СВМПЭ в условиях сухого трения скольжения, формируя на контртеле плёнку переноса. По нашему мнению, при большом содержании фторопласта (40 вес.%) плёнка переноса, быстро формируясь на контртеле, локально отрывается от него, что в конечном итоге вызывает рост интенсивности изнашивания образца (рис. 3 и 7). Коэффициент трения при этом также повышается (см. табл. 1).

Абразивное изнашивание. В работе проанализировано влияние наполнения политетрафторэтиленом на сопротивление абразивному изнашиванию композиций на основе СВМПЭ. На рис. 8, а приведена диаграмма интенсивности абразивного изнашивания всех исследованных композиций при размере зерна абразива Р 240 (58,5 мкм). Из рис. 8, а следует, что сопротивление абразивному

изнашиванию при наполнении СВМПЭ мелкодисперсным фторопластом близко таковому для чистого СВМПЭ. При наполнении СВМПЭ более крупными частицами политетрафторэтилена износостойкость незначительно (примерно на 5–20%) возрастает с увеличением содержания наполнителя). Подобным образом зависит шероховатость поверхностей трения (R_a) от размера и содержания наполнителя (рис. 8, б). По данным микрофотографий поверхности абразивного изнашивания чистого СВМПЭ и СВМПЭ—ПТФЭ видно, что частицы закреплённого абразива режут матрицу, а относительно мягкий политетрафторэтилен не способен “защитить” матрицу (борозды пропахивания смесей сравнимы с таковыми в чистом СВМПЭ). По-видимому, политетрафторэтилен при абразивном изнашивании лишь облегчает проскальзывание абразивной бумаги по поверхности образца, хотя с увеличением размера наполнителя этот вклад в абразивную износостойкость увеличивается (в силу соизмеримости размеров зерна абразива и наполнителя) [11].

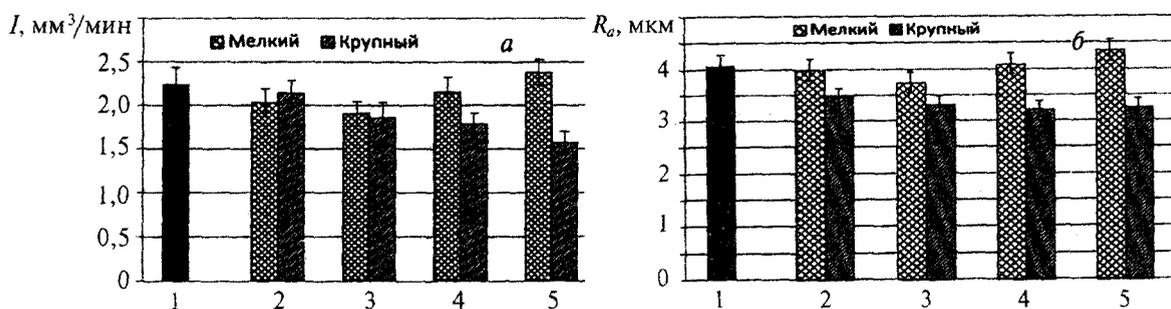


Рис. 8. Интенсивность изнашивания I (а) и шероховатость поверхности дорожки трения R_a (б) СВМПЭ и смесей СВМПЭ—ПТФЭ: чистый СВМПЭ (1), СВМПЭ + 5 вес.% ПТФЭ (2), СВМПЭ + 10 вес.% ПТФЭ (3), СВМПЭ + 20 вес.% ПТФЭ (4) и СВМПЭ + 40 вес.% ПТФЭ (5) на стадии установившегося износа в режиме абразивного изнашивания. Р 240

Результаты исследований и их обсуждение. Комплексный анализ триботехнических характеристик СВМПЭ—ПТФЭ при трёх типах изнашивания показал, что наиболее вероятно при сухом трении скольжения политетрафторэтилен формирует плёнку переноса на контртеле (полимер-полимерное трибосопряжение), повышая износостойкость более чем в два раза [9]. Существует оптимальное содержание (не более 10 вес.%) ПТФЭ в композиции, при котором сохраняется однородная надмолекулярная структура матрицы и формируется тонкий адгезионный слой фторопласта на контртеле. Этому препятствует дальнейшее увеличение содержания наполнителя, приводя к значительному снижению механических характеристик и износостойкости изучаемых полимерных смесей. Коэффициент трения с увеличением содержания фторопласта возрастает (табл. 1). Размер частиц фторопласта определяет равномерность его распределения в матрице и, в итоге, однородность и кристалличность формирующейся надмолекулярной структуры (табл. 1). При использовании мелкодисперсного фторопласта формируется однородная сферолитная структура с более высокой кристалличностью, чем с крупным. С другой стороны, мягкие частицы фторопласта, “запрессованные” в СВМПЭ-матрице, играют роль демпфирующих включений, что способствует сохранению износостойкости полимерных смесей. Поэтому мелкодисперсный фторопласт предпочтительнее при получении полимер-полимерных матричных материалов СВМПЭ—ПТФЭ с целью дальнейшей разработки на их основе твёрдосмазочных нанокомпозитов.

В условиях абразивного изнашивания имеет место резание матрицы и мягкого политетрафторэтилена частицами закреплённого абразива, поэтому абразивная износостойкость СВМПЭ—ПТФЭ определяется размером зерна абразива и прочностью сформированной надмолекулярной структуры. Абразивная износостойкость смесевых материалов близка к таковой исходной матрицы при однотипной надмолекулярной структуре (до 10 вес.% наполнителя). Поли-

тетрафторэтилен лишь “смягчает” проскальзывание абразивной бумаги по поверхности наполненного полимера.

Таким образом, введение в СВМПЭ частиц политетрафторэтилена до 10 вес.% позволяет без значительного снижения механических характеристик добиться более чем двукратного повышения сопротивления изнашиванию при сухом трении скольжения.

Заключение. Определено содержание политетрафторэтилена (до 10 вес.%), обеспечивающее более чем двукратное повышение сопротивления изнашиванию при сухом трении скольжения с одновременным снижением коэффициента трения в 2 раза.

Политетрафторэтилен выполняет роль твёрдой смазки в процессе изнашивания смесевых материалов СВМПЭ-ПТФЭ также в условиях смазочной среды.

Так как при абразивном изнашивании относительно мягкий политетрафторэтилен не способен “защитить” матрицу от воздействия частиц закреплённого абразива, смесевые материалы СВМПЭ—ПТФЭ не пригодны для использования в условиях абразивного изнашивания.

Эффективность наполнения СВМПЭ политетрафторэтиленом в условиях сухого трения скольжения обусловлена снижением коэффициента трения и повышением износостойкости при незначительном снижении механических характеристик. Биосовместимые материалы СВМПЭ—ПТФЭ, содержащие до 10 вес.% ПТФЭ, могут использоваться в узлах трения в технических приложениях и медицине (в частности, для изготовления эндопротезов).

Работа выполнена в рамках программы фундаментальных научных исследований государственных академий наук на 2013—2020 годы, а также при поддержке проектов РФФИ № 12-08-00930_a, 14-08-90028 и Г14Р-210 БРФФИ с привлечением оборудования ЦКП “Нанотех” ИФПМ СО РАН и Аналитического центра НИ ТПУ.

Обозначения

I — интенсивность изнашивания, $\text{мм}^2/\text{мин}$, МПа; σ_B — предел прочности, МПа; ϵ — относительное удлинение, %; R_a — шероховатость поверхности трения, мкм.

Литература

1. Краснов А. П., Адериха В. Н., Афоничева О. В., Мить В. А., Тихонов Н. Н., Васильков А. Ю., Саид-Галиев Э. Е., Наумкин А. В., Николаев А. Ю. О систематизации нанонаполнителей полимерных композитов // Трение и износ. — 2010 (31), № 1, 93—108
2. Гоголева О. В., Охлопкова А. А., Петрова П. Н. Износостойкие композиционные материалы на основе сверхвысокомолекулярного полиэтилена для эксплуатации в экстремальных условиях // Материаловедение. — 2011, № 9, 10—13
3. Stein Harley L. Ultra High Molecular Weight Polyethylene (UHMWPE) // Engineered Materials Handbook. — 1999, Vol. 2: Engineering Plastics
4. Galetz M. C., Blar T., Ruckdaschel H., Sandler K. W., and Alstadt V. Carbon Nanofibre-Reinforced Ultrahigh Molecular Weight Polyethylene for Tribological Applications // Journal of Applied Polymer Science. — 2007 (104), 4173—4181
5. Panin S., Kornienko L., Sonjaitham N., Tchaikina M., Sergeev V., Ivanova L., and Shilko S. Wear Resistant Ultra-High Molecular Weight Polyethylene Based Nano- and Microcomposites for Implants // Journal of Nanotechnology. — 2012, no. 1, Special Issue Nanocomposites. Article ID 729756, 7 pages, 2012
6. Zoo V. S., An J.-W., Lim D.-Ph., and Lim D.-S. Effect of Carbon Nanotube Addition on Tribological behavior of UHMWPE // Tribology Letters. — 2004 (16), no. 4, 305—309
7. Myshkin N. K., Petrokovets M. I., and Kovalev A. V. Tribology of Polymers: Adhesion, Friction, Wear and Mass-Transfer // Tribology International. — 2005 (38), 910—921

8. **Briscoe B.** Wear of Polymers: an Essay on Fundamental Aspects // Tribology International. — 1981 (14), 231—243
9. **Myshkin N. K. and Kovalev A. V.** Adhesion and Friction of Polymers of Polymer Tribology / Ed. Sujeet K. Sinha and Brian J. Briscoe // Imperial College Press. — 2009, 3—32
10. **Краснов А. П., Мить В. А., Афоничева О. В., Рашкован И. А., Казаков М. Е.** Трибохимически активные и трибостабильные полимеры и полимерные системы // Трение и износ. — 2002 (23), № 4, 397—410
11. **Панин С. В., Корниенко Л. А., Сонджайтам Н., Иванова Л. Р., Шилько С. В.** Абразивное изнашивание микро и нанокомпозитов на основе сверхвысокомолекулярного полиэтилена (СВМПЭ). Часть 1. Композиты на основе СВМПЭ, наполненного микрочастицами $AlO(OH)$ и Al_2O_3 // Трение и износ. — 2012 (33), № 4, 233—239

Поступила в редакцию 24.11.14.

Panin S. V., Kornienko L. A., Nguen Suan T., Ivanova L. R., Korgagin M. A., Shilko S. V., and Pleskachevskiy Ju. M. **Wear Resistance of Composites Based on Hybrid UHMWPE—PTFE Matrix: Mechanical and Tribotechnical Properties of the Matrix.**

In order to develop the biocompatible antifriction composites based on UHMWPE the mechanical and tribotechnical characteristics of a hybrid polymer matrix in the form of a mixture (blend) of UHMWPE with polytetrafluoroethylene (PTFE) have been studied under dry friction, boundary lubrication and abrasive wear. It is shown that the wear rate of the material under dry sliding friction was reduced more than twice compared with the pure UHMWPE. However, mechanical characteristics are changed insignificantly. Under boundary lubrication (distilled water), the wear resistance of the matrix material is similar to that for dry sliding friction. Under abrasive wear, durability of the composites differs a little from that for the pure UHMWPE. The mechanisms of wear of the polymer blend “UHMWPE—PTFE” under dry sliding friction and abrasive wear are discussed.

Key words: antifriction composites, polymer—polymer matrix, ultra high molecular weight polyethelene, polytetrafluoroethylene, wear resistance, friction coefficient, molecular structure, transfer films.